

SS-CDMA通信モジュールの研究

著者	苔米地 秀一
号	2627
発行年	2000
URL	http://hdl.handle.net/10097/7900

氏 名	とまべち しゅういち 苔米地 秀一
授 与 学 位	博士（工学）
学 位 授 与 年 月 日	平成 13 年 3 月 26 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）電子工学専攻
学 位 論 文 題 目	SS-CDMA 通信モジュールの研究
指 導 教 官	東北大学教授 坪内 和夫
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 大見 忠弘 東北大学教授 横尾 邦義

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序論

業務の自動化に伴い、電力・ガス・水道等の自動検針システムや物流管理のためのワイヤレスタグへの要望は、ますます高まっている。特に、自動検針システムの実現には、屋外において超低消費電力動作且つ高信頼性を有する、スペクトラム拡散通信技術を用いた無線スイッチの開発が必須である。本論文は、自動検針システムの構築を目的として、 Al_2O_3 基板上への AlN 成膜技術、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波（SAW）マッチトフィルタの温度特性改善技術、更に $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW マッチトフィルタを用いたスペクトラム拡散（SS）無線スイッチの開発を行った。

第 2 章 面内均一性向上のための成膜技術

本章では、TMA（トリメチルアルミニウム）とアンモニアをソースガスとするクヌーセン圧 MOCVD 法を用いた AlN 成膜技術の確立について述べている。 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW デバイスでは、サファイア基板上での AlN 膜厚により、弾性表面波の位相速度が変化するため、動作中心周波数がばらつく。クヌーセン圧 MOCVD 法を用いることで、実用上許容出来る面内膜厚分布 $\pm 1\%$ （@2inch 基板）を有するものの、 AlN 膜厚が $0.25\mu\text{m}$ を超えると、膜表面にクラックが発生し、弾性表面波の伝搬損失を増大させていた（図 1-a）。本論文では、微傾斜基板もしくは基板温度を高温化し（図 1-b）成膜することで、クラック発生を抑制出来ることを新たに見出した。また、クラック発生が抑制されることにより、弾性表面波の伝搬損失が 1 桁低減するこ

とを SAW デバイスの試作により、確認した。これは、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW デバイス量産化のための成膜技術を確認した重要な成果である。

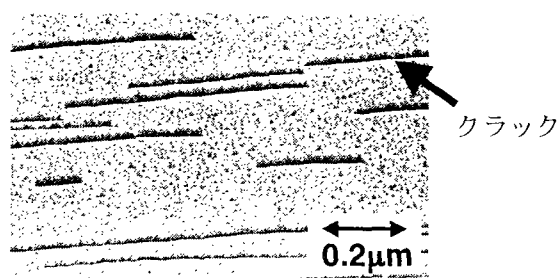


図 1-(a)

通常のクヌーセン圧 MOCVD 法を用いて成膜した AlN 膜表面の SEM 像

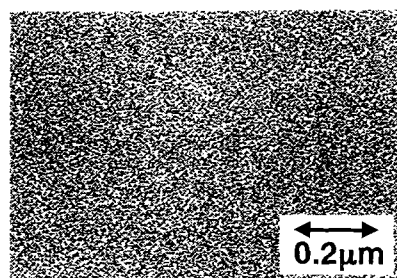


図 1-(b)

高温成長技術を用いて成膜した AlN 膜表面の SEM 像

第 3 章 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW デバイス温度特性

本章では、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW デバイスの温度特性改善技術について述べている。現在再現性良く得られている $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW デバイスの温度特性は $20\sim 30\text{ppm}/^\circ\text{C}$ であり、SS 無線スイッチの応答時間は 2 秒程度必要となる。本論文では、負の温度係数を持つ SiO_2 膜を $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 上に堆積する事で、温度特性が約 $10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 改善される事を新たに見出した (図 2)。また、成膜時の反応管内圧力及びソースガスの V/III 比の条件を見直しを行った。反応管内圧力は排気ポンプ前段にあるコンダクタンスバルブにより調整し、V/III 比については、TMA のバックアップガスを水素から窒素に変え、検討を行った。得られた AlN 膜を用いて SAW デバイスの試作を行った結果、 $20\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 以下の温度特性を有する $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW デバイスが得られた (図 3)。これにより、SS 無線スイッチの応答時間は約 1.5 秒まで改善される。これらの実験を通し、温度特性改善のためには表面モルフォロジが緻密で結晶性の良い AlN 膜が必要不可欠であることを見出した (図 4)。この知見に基づき、原子層レベルで平坦な AlN 膜が得られるとの報告がある 2 段階高温成長技術について検討を行い、平坦性に優れた AlN 膜を得る指針を得た。これらの検討は、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW マッチトフィルタを用いた SS 無線スイッチの応答時間を早めるために必要な実用上極めて重要な成果である。

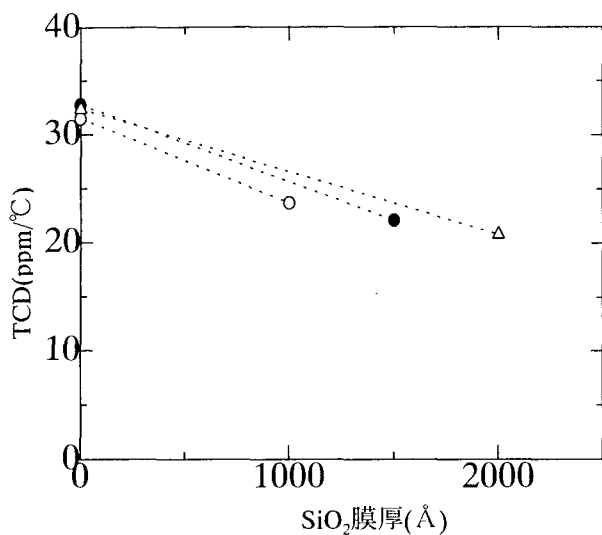


図2 SiO₂膜厚と温度特性の関係

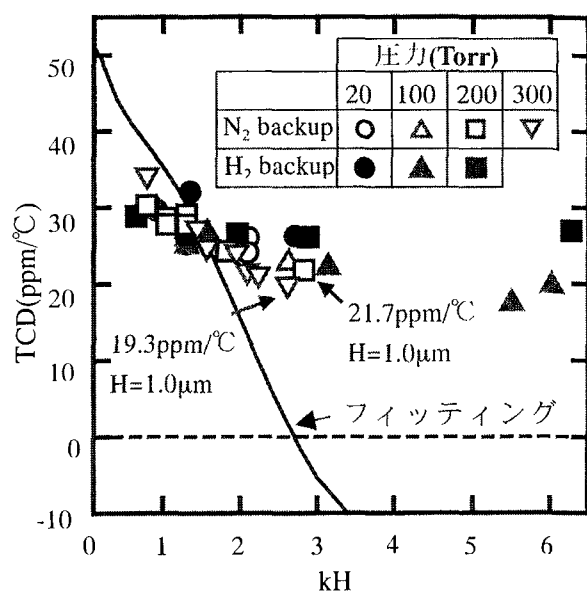


図3 反応管内圧力とV/III比と温度特性温度特性の関係

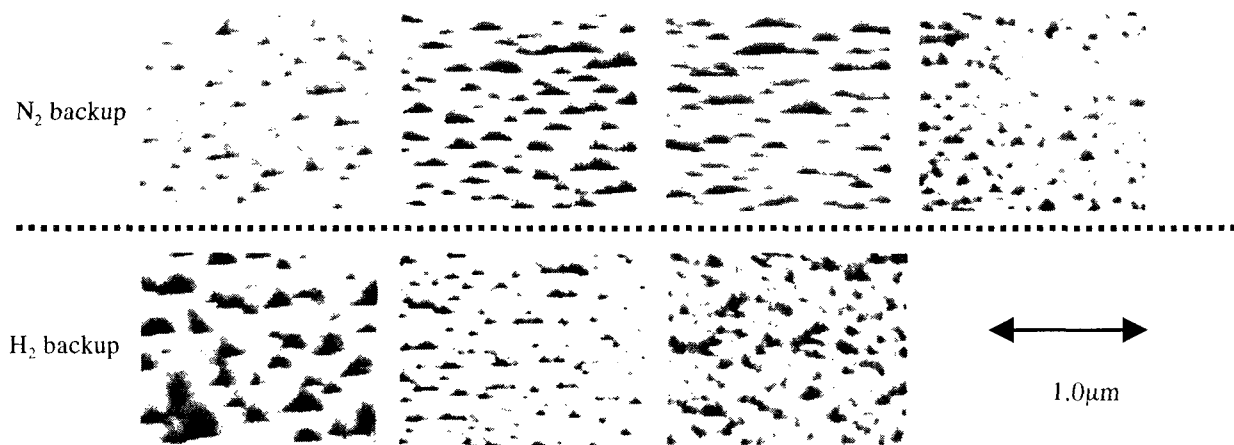


図4 反応管内圧力とV/III比とAlN膜表面のSEM像
(膜厚はいずれも1.0μm)

第4章 AlN/Al₂O₃SAW マッチフィルタを用いたアプリケーション

本章では、AlN/Al₂O₃構造 SAW マッチフィルタを用いたスペクトラム拡散無線スイッチについて述べている。赤外線やCW波といった従来の無線スイッチでは屋外で使用可能且つ高信頼性が求められる自動検針システムへは適用が困難である。一方、スペクトラム拡散通信を用い

た無線スイッチは拡散符号により希望信号を判別するため、雑音による誤動作を防止でき、高信頼性動作が実現出来る。SS 無線スイッチを実現するに当たり、問題となるのが消費電力であるが、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW マッチトフィルタを用いることで超低消費電力化が可能であることを始めて示した。試作したスペクトラム拡散無線スイッチ（図 5）の評価を行った結果、目標値である電池寿命 10 年・通信距離 30m をはるかに上回る特性を持つスペクトラム拡散無線スイッチを得た（図 6）。また、重み付け SAW マッチトフィルタを用いる事で、更なる高性能化が出来る事を示した。

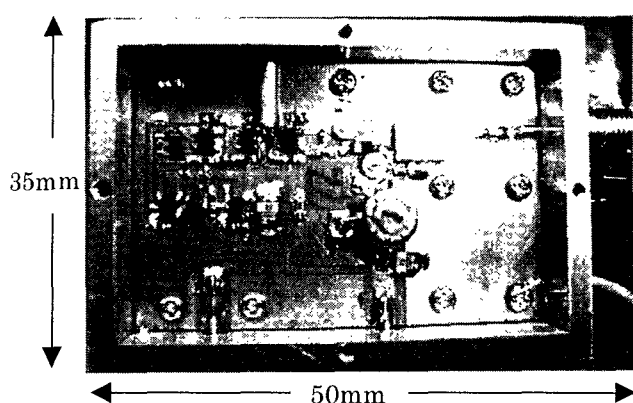


図 5 試作した SS 無線スイッチ

消費電力（電池寿命）	受信感度	通信可能距離
10 μ W（93 年）	-38dBm	12m
100 μ W（10 年）	-60dBm	158m
1mW（1 年）	-70dBm	501m

図 6 試作した SS 無線スイッチの測定結果

第 5 章 結論

本研究の結果により、面内膜厚分布 $\pm 1\%$ を有し、且つクラックレスな AlN 膜を得る技術であるクヌーセン圧 MOCVD 法を確立した。また、 SiO_2 膜堆積、AlN 膜結晶性改善により、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW デバイスの温度特性が改善されることを示した。これにより SS 無線スイッチのレスポンスが向上する。また、本研究の最終ターゲットである自動検針システムの構築のため、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造 SAW マッチトフィルタを用いた SS 無線スイッチについて、検討を行った。その結果、自動検針を行うことが可能な通信距離を保ちつつ、超低消費電力動作が可能な SS 無線スイッチが得られた。これらの技術を併せることにより、自動検針システムの構築が可能であると言える。

論文審査結果の要旨

将来のネットワーク時代において、電力・ガス・水道等の自動検針システムへの要望は、ますます高まっている。自動検針システムの実現には、屋外において超低消費電力動作かつ高信頼性を有する、スペクトラム拡散（SS）技術を用いた無線スイッチの開発が必須である。本論文は、自動検針システムの構築を目的として、 Al_2O_3 基板上への AlN 成膜技術、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波マッチトフィルタの温度特性の改善技術を確立し、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波デバイスを用いた SS 無線スイッチを開発した成果をまとめたもので、全文 5 章からなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、クヌーセン圧 MOCVD 法を用いた AlN 成膜技術の確立について述べている。この成膜法は、面内膜厚分布 $\pm 1\%$ を有するものの、 Al_2O_3 基板上の AlN 膜厚が厚くなると、膜表面にクラックが発生し、弾性表面波の伝搬損失を増大させていた。微傾斜基板の使用もしくは基板温度を高温化し成膜することで、クラック発生を抑制出来ることを新たに見出した。これは、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波デバイス量産化のための成膜技術を確立した重要な成果である。

第 3 章では、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波デバイスの温度特性の改善について述べている。これまで再現性良く得られる $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波デバイスでの中心周波数温度依存性は $20\sim 30$ ppm/°C であり、2.4 GHz 帯 SS 無線スイッチの周波数スキャンを用いた場合の応答時間は 2 秒程度が必要であった。負の温度係数を持つ SiO_2 膜を $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 上に堆積する事で、中心周波数温度依存性が 10 ppm/°C 程度改善される事を新たに見出した。また、温度特性改善のためには、成膜時の反応管内圧力及び Al_2O_3 基板表面上の原料ガス組成の V/III 比（五族元素/三族元素モル比）を変えて行った成膜実験より、表面モルフォロジが緻密で結晶性の良い AlN 膜の形成が必要不可欠であることを明らかにした。この知見に基づき、原子層レベルで平坦な成膜技術を確立するため 2 段階高温成長技術についての検討を行い、平坦性に優れた AlN 膜を得る指針を得た。これらの結果は、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波マッチトフィルタを用いた SS 無線スイッチの応答時間を早めるために必要な実用上極めて重要な成果である。

第 4 章では、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波マッチトフィルタを用いた SS 無線スイッチについて述べている。従来の無線スイッチでは適用が困難であった自動検針システムに対し、SS 無線スイッチを用いたシステムの提案を行った。この無線スイッチの実用に当たり、低消費電力が重要な指標であるが、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波マッチトフィルタを用いることで超低消費電力化が可能であることをはじめて示した。これらの検討を踏まえて試作した SS 無線スイッチの評価により、目標値である電池寿命 10 年・通信距離 150 m の特性を持つスペクトラム拡散無線スイッチを得た。また、重み付け弾性表面波マッチトフィルタを用いる事で、プロセスゲインにして 5 dB、通信距離にしてさらに 50 m 以上の高性能化が可能とする事を示した。この結果は、SS 無線スイッチによる広範囲リモートセンシングの実現を可能とするもので、自動検針の実用上極めて重要な成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、 $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波マッチトフィルタの実用化を目的として AlN 膜の成膜技術及び温度特性改善技術の確立、並びに $\text{AlN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 構造弾性表面波マッチトフィルタを用いた SS 無線スイッチの設計手法を確立し、SS 無線スイッチを用いた自動検針システムを構築したもので、無線通信工学および電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。